



Institut Teknologi Sepuluh
Nopember Surabaya

Aplikasi Kinerja Teknologi Baterai Elektrolit Air Tawar dan Laut Sebagai Sumber Energi Aplikatif

Oleh:

Masrufaiyah 2414 202 008

Dosen Pembimbing:

Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T



BAB 1

- Latar Belakang
- Perumusan Masalah
- Tujuan dan Manfaat
- Batasan Masalah

BAB 2

- State of The Art
- Prinsip Kerja Baterai
- Parameter Baterai
- Elektrolit

BAB 3

- Diagram Alir Penelitian
- Alat dan Bahan
- Rancangan Penelitian

BAB 4

- Komposisi Penyusun Elektroda
- Polarisasi Potensiodinamik
- Reaksi Elektrokimia Sel
- *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Elektroda*

(EIS) Elektroda
zbedroetobh
nuksoqucs
▪ E[ecb-ocpaw]ca]

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Elektroda

BAB 5

- Kesimpulan



- ❑ Indonesia berpotensi besar untuk pengembangan energi terbarukan (baterai air laut)
- ❑ Self discharge $\text{Mg} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{H}_2 + \text{panas}$
(mengurangi efisiensi, kapasitas, performa) (Wang, Nai-guang, dkk, 2014)
- ❑ Elektrolit dapat dialirkan
- ❑ Alumunium memiliki laju *self discharge* lebih lambat dan memiliki kapasitas yang lebih besar dibanding magnesium (Shen & Tseung, 1994)
- ❑ Alumunium lebih murah dibandingkan dengan magnesium
- ❑ Tembaga memiliki konduktifitas termal kedua tertinggi setelah perak
- ❑ Tembaga memiliki harga yang lebih murah dibandingkan perak (Linden and Reddy, 2002)
- ❑ Unsur seng pada alumunium menunjukkan profil potensial standar yang bertambah tinggi (Wales P C dkk, 1974)
- ❑ Paduan alumunium dan seng terbukti dapat melindungi logam dari korosifitas (Mav P T dkk, 1949)





BAB 1

Perumusan Masalah

Bagaimana kinerja baterai air laut dan
air tawar.....?





Tujuan

dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan konfigurasi parameter yang memberikan kinerja terbaik dari baterai air laut dan air tawar

Manfaat

yang bisa didapatkan adalah diperoleh suatu informasi mengenai karakteristik kinerja baterai air laut dan air tawar yang menggunakan elektroda yang mudah didapatkan





BAB 1

Batasan Masalah

1. Elektroda yang digunakan adalah paduan Zn/Al, lempeng Cu, lempeng aluminium.
2. Air laut yang digunakan adalah elektrolit sintetis dengan melarutkan NaCl ke dalam aquades



State of The Art

1. Cupric Oxalate, A New Cathode Material For Reserve Batteries (1968)
2. Seawater Battery Experiments (1971)
3. Anodes of Al Alloyed with Zn For Seawater Batteries (1975)
4. Performance Characteristic of a Pilot Sea-Water Activated Battery With Pb/PbCl₂ Cathodes, Prepared by Cyclic Voltametry (1993)
5. Development of an Aluminium/Sea Water Battery For Sub-Sea Applications (1994)
6. Sea-Water Battery For Subsea Control Systems (1997)
7. Development of Seawater Battery For Deep-water Applications (1997)
8. Application of Plasma Spray Deposited Coating for Seawater Activated Batteries (1998)
9. Influence of Allotropic Modifications of Sulphur on The Cell Voltage in Mg-CuI(S) Seawater Activated Battery (1999)
10. Magnesium-Solution Phase Catholyte Seawater Electrochemical System (1999)
11. Performance Evaluation of Mg-AgCl Batteries For Underwater Propulsion (2001)
12. Handbook of Batteries (2002)
13. The Salty Science of the Aluminum-Air Battery (2008)
14. Electrochemical Performance of Magnesium Alloy and Its Application on The Sea Water Battery (2009)
15. Discharge Behavior of Mg-4 wt%Ga-2 wt%Hg Alloy As Anode For Seawater Activated Battery (2011)
16. Practical Application of a Sea-Water Battery in Deep-Sea Basin and its Performance (2009)
17. Microstructure Effect on The Electrochemical Corrosion Properties of Mg-4.1%Ga-2.2% Hg Alloy As The Anode For Seawater-Activated Batteries (2011)
18. Cheaper Electrodes Having Higher Efficiency Using Salt Water And Salt Vinegar Electrolytes (2012)
19. Effect of Hot Rolling and subsequent Annealing on Electrochemical Discharge Behavior of AP65 Magnesium Alloy as Anode For Seawater Activated Battery (2012)
20. Electrochemical Properties of Magnesium Alloy Anodes Discharged in Seawater (2012)
21. Enhancement of The Discharge Performance of AP65 Magnesium Alloy Anodes by Hot Extrusion (2014)
22. Enhancing The Performance of Mg-Al Brine Water Batteries Using Conductive Polymer-PEDOT:PSS (2014)
23. Thermoelectric Performances of Seawater and Al₂O₃ Nanofluids Using Battery Facility (2014)
24. Research Progres of Magnesium Anodes and Their Applications in Chemical Power Sources (2014)
25. Discharge Behavior and Electrochemical Properties of Mg-Al-Sn Alloy Anode For Seawater Activated Battery (2015)
26. Water Soluble Graphene as Electrolyte Additive in Magnesium-Air Battery System (2015)



Prinsip Kerja Baterai

Baterai adalah alat yang dapat mengubah energi kimia yang terkandung dalam material aktifnya menjadi energi listrik secara langsung melalui reaksi redok elektrokimia (Linden dan Reddy, 2002).

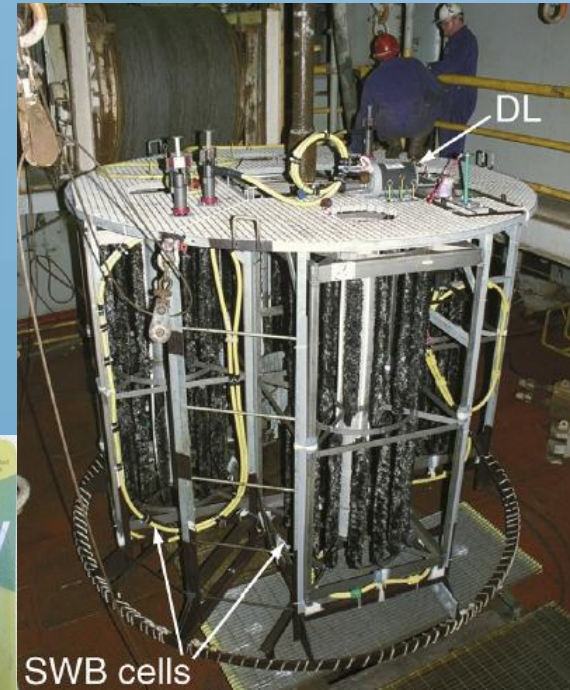
Reaksi oksidasi



Reaksi reduksi



Reaksi keseluruhan



BAB 2

Parameter Baterai

Tegangan Keluaran

Kapasitas

Muatan Energi

Kerapatan Energi

Resistansi Internal

Tegangan sel baterai(E) yang terhubung dengan beban eksternal R dapat digambarkan dengan persamaan :

$$E = E_0 - [(\eta_{ct})_a + (\eta_c)_a] - [(\eta_{ct})_c + (\eta_c)_c] - IR_i = iR$$

Diluar kondisi keadaan standart (persamaan Ners) :

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln K$$

$$C_{Ah} = \int_0^t I(t) \cdot dt$$

$$E = \int_0^t U(t) \cdot I(t) \cdot dt$$

$$R_i = \frac{U_1 - U_2}{i_2 - i_1} = \frac{\Delta U}{\Delta i}$$

Dengan

R : Konstanta gas

T : Temperature absolute

K : Tetapan kesetimbangan yang nilainya sama dengan perbandingan aktifitas spesi teroksidasi terhadap spesi tereduksi.

E_0 : Gaya gerak listrik atau tegangan *open-circuit* sel

$(\eta_{ct})_a, (\eta_{ct})_c$: Aktifasi polarisasi *charge-transfer overvoltage* pada anoda dan katoda

$(\eta_c)_a + (\eta_c)_c$: Konsentrasi polarisasi pada anoda dan katoda

i : Arus operasi sel ketika ada beban

R_i : Resistansi internal sel



BAB 2

Elektrolit

Sistem baterai yang menggunakan elektrolit air harus memiliki konduktifitas elektrolit cukup tinggi untuk mengurangi polarisasi IR saat beroperasi.

Kisaran Konduktifitas Berbagai Elektrolit pada Temperature Ambien

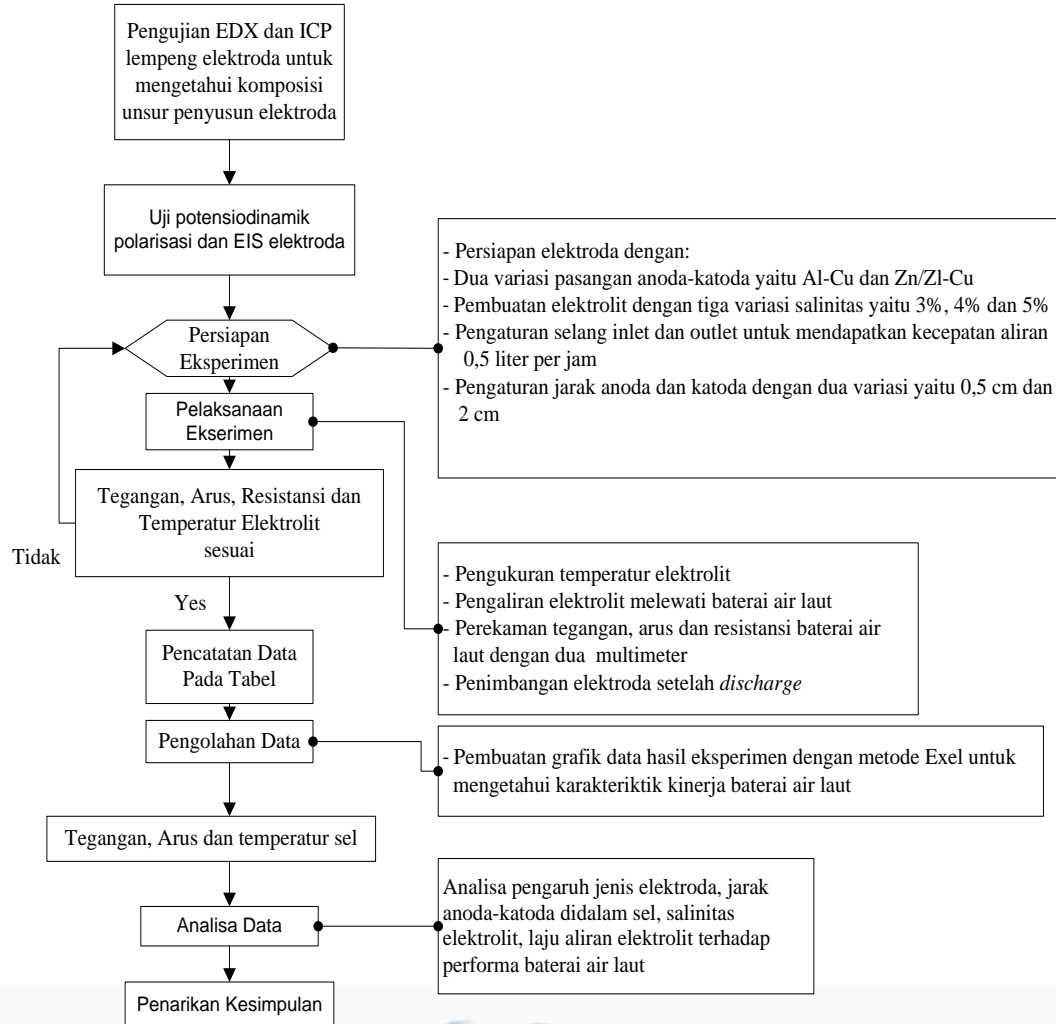
Sistem Elektrolit	Konduktifitas Spesifik ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)
<i>Aqueous Electrolyte</i>	$1\text{-}5 \times 10^{-1}$
<i>Molten Salt</i>	10^{-1}
<i>Inorganic Electrolytes</i>	$2 \times 10^{-2} - 10^{-1}$
<i>Organic Electrolytes</i>	$10^{-3} - 10^{-2}$
<i>Polymer Electrolytes</i>	$10^{-7} - 10^{-3}$
<i>Inorganic Solid Electrolytes</i>	$10^{-8} - 10^{-5}$

Sumber : Linden and Reddy, 2002



BAB 3

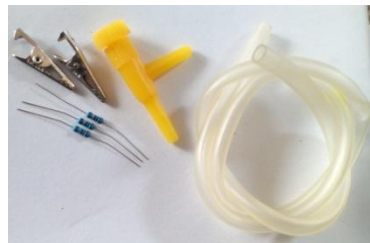
Metode Penelitian



BAB 3

Alat :

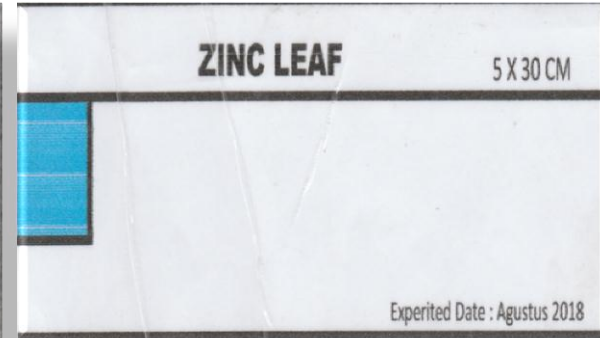
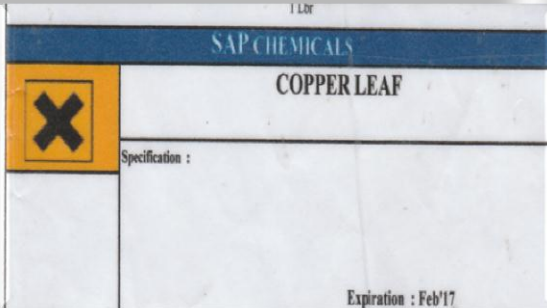
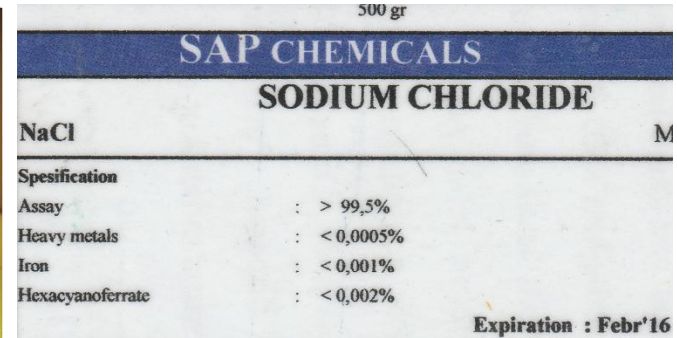
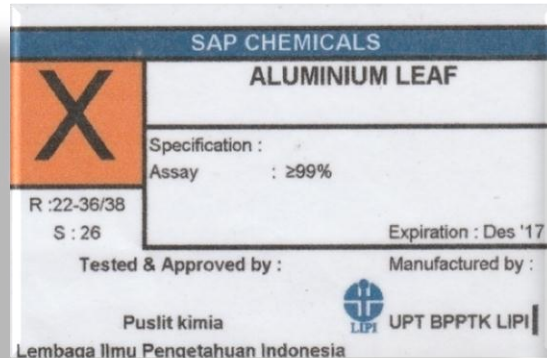
- kotak plastik dengan dimensi panjang 4,7 cm, lebar 2,9 cm dan tinggi 7 cm
- true-rms multimeter fluke
- gunting pelat logam
- Solder
- video recorder
- stopwatch digital
- Selang dengan diameter 5 cm
- penjepit buaya
- Neraca SCA 301
- Gelas ukur
- Thermocouple
- timah solder
- kabel tembaga
- Resistor dengan nilai hambatan 1 ohm
- Pompa sederhana
- Konduktivimeter
- mikrometersekrup



BAB 3

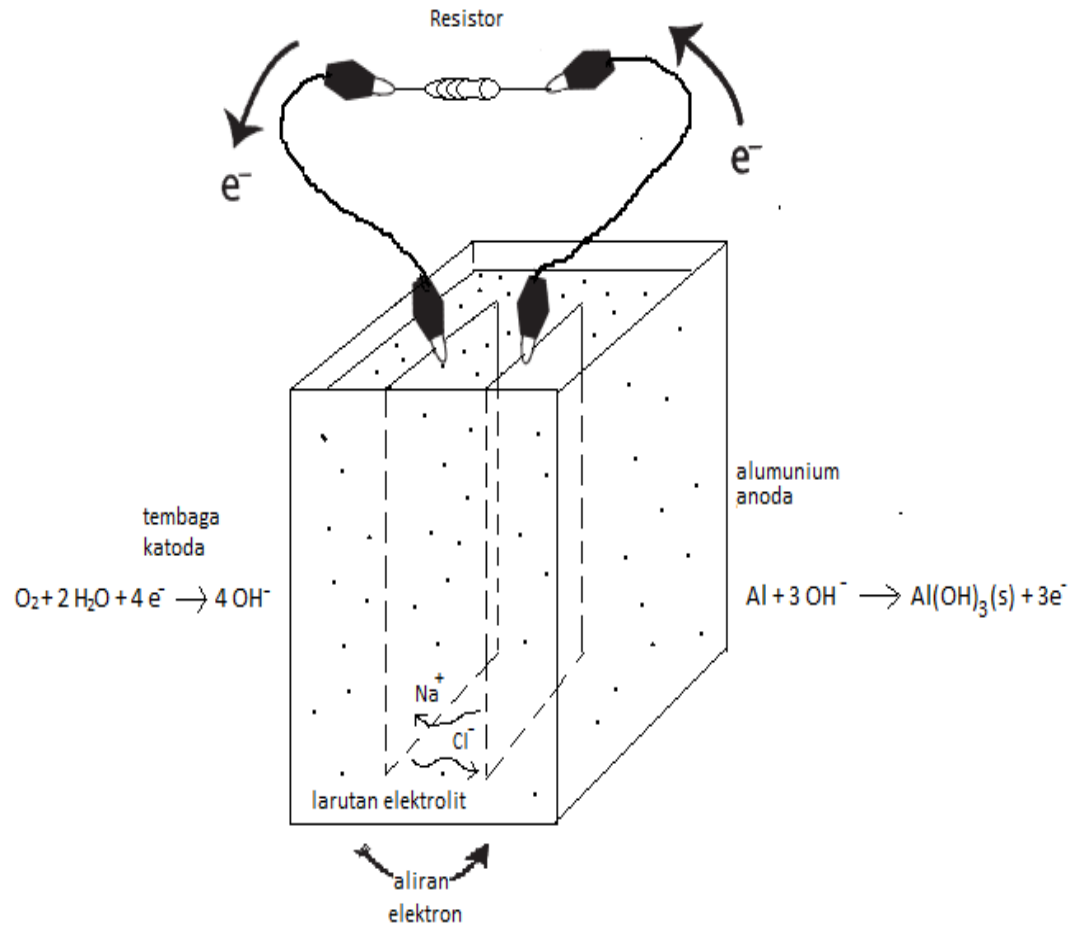
Bahan :

- Lempeng aluminium tebal 0,15 mm, luas 2 cm x 3 cm
- Lempeng tembaga tebal 0,20 mm, luas 2 cm x 3 cm
- Lempeng paduan seng/aluminium tebal 0,33 mm, luas 2 cm x 3 cm
- Serbuk NaCl
- Aquades



BAB 3

Rancangan Penelitian



**Variasi
Pengukuran**

**Salinitas Elektrolit
(air tawar, 3%, 4%, 5%)**

**Laju Elektrolit
(0 l/jam dan 0,5 l/jam)**

**Jarak Anoda-Katoda
(0,5 cm dan 2 cm)**

**Jenis Anoda
(Al dan Paduan Zn/Al)**

26 Keadaan





Komposisi Penyusun Elektroda

Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)

Polarisasi Potensiodinamik Elektroda

Reaksi Elektrokimia Sel

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Jarak

Pengaruh Laju Elektrolit

Pengaruh Salinitas

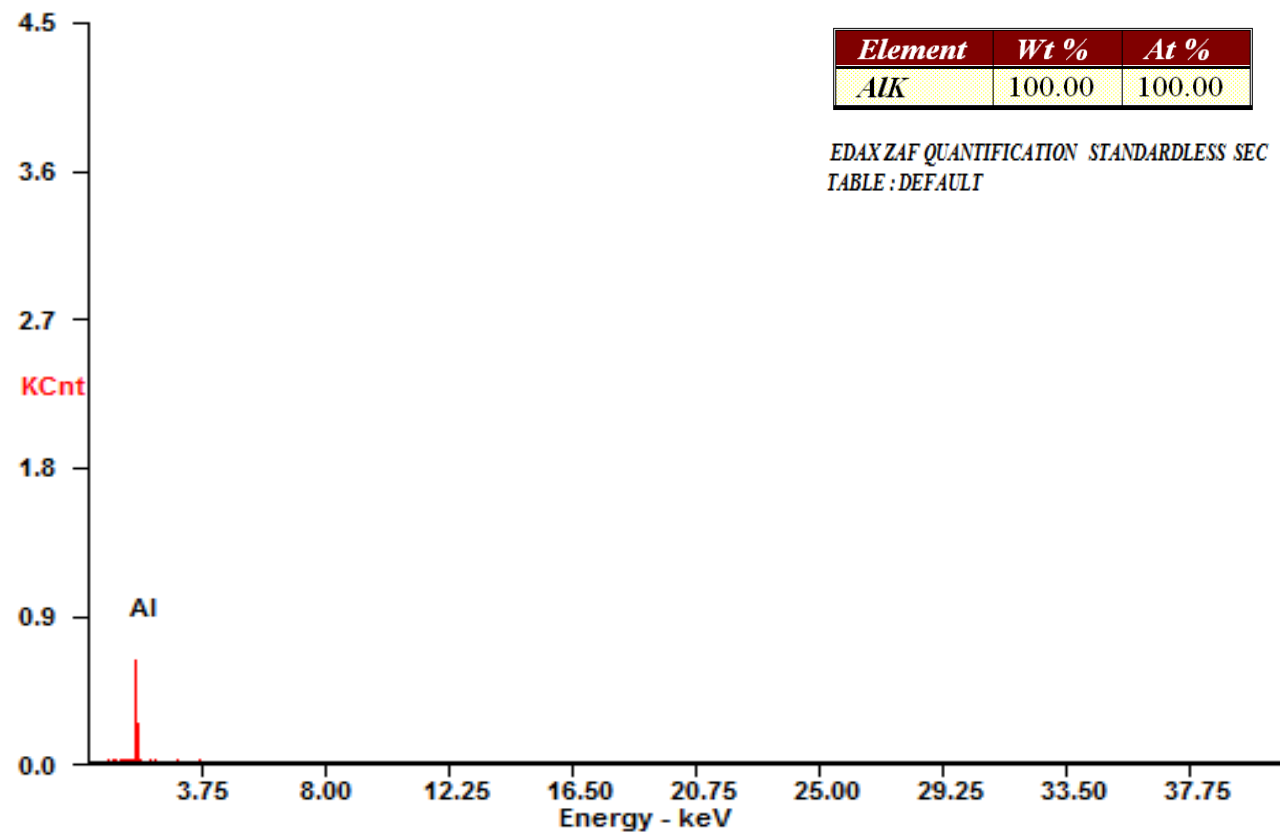
Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Elektroda

Komposisi Penyusun Elektroda

Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

c:\ledax32\genesis\genspc.spc 09-Oct-2015 08:40:28
Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)

LSecs : 1



KV:20.00 TILT:0.00 TAKE-OFF:42.62 AMPT:6.4 DETECTOR TYPE
:SDD APOLLO X RESOLUTION :125.82

Lempeng aluminium

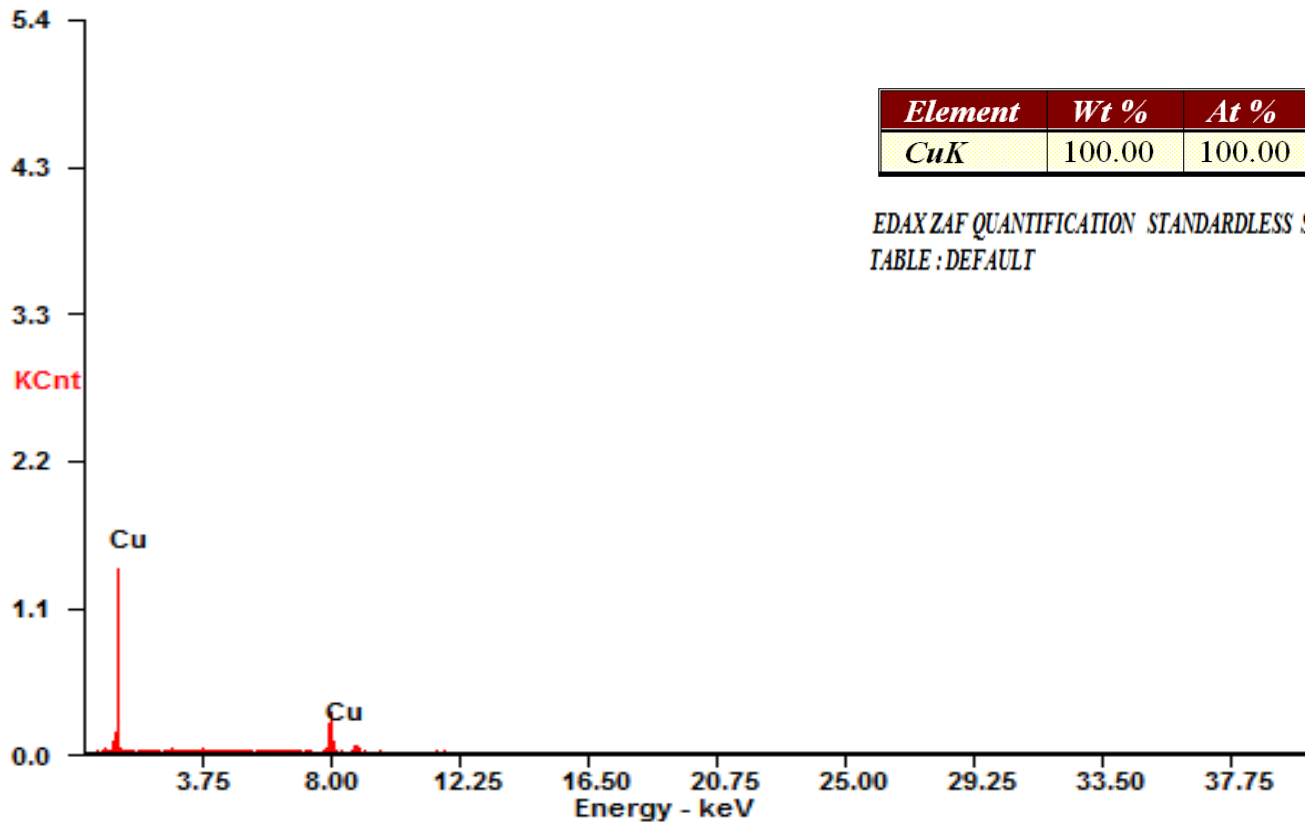
Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

c:\edax32\genesis\genspc.spc 09-Oct-2015 08:35:14
Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)

LSecs : 1

Element	Wt %	At %
CuK	100.00	100.00

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



KV:20.00 TILT:0.00 TAKE-OFF:35.00 AMPT:6.4 DETECTOR TYPE
:SDD APOLLO X RESOLUTION:125.82



Lempeng tembaga

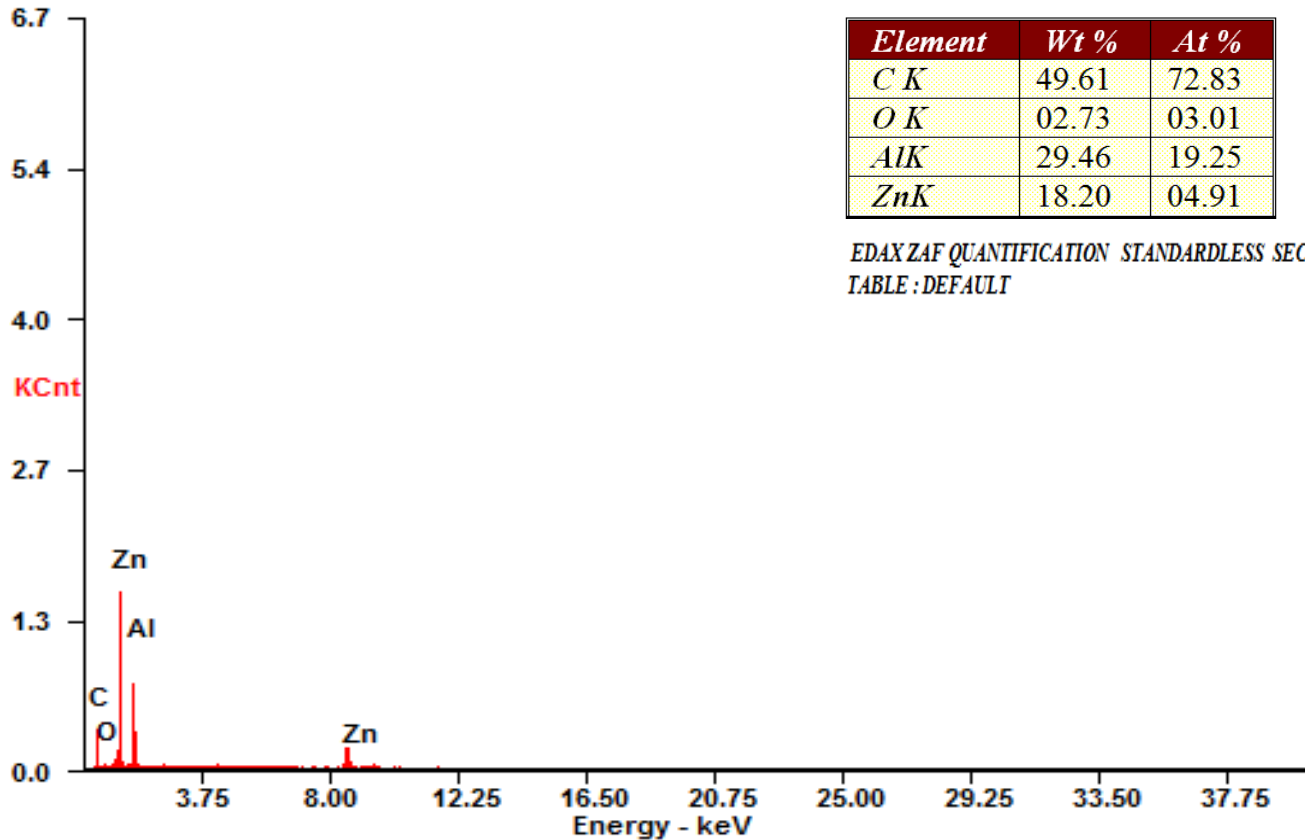
Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

c:\edax32\genesis\genspc.spc 09-Oct-2015 08:39:04
Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)

LSecs : 1

Element	Wt %	At %
C K	49.61	72.83
O K	02.73	03.01
Al K	29.46	19.25
Zn K	18.20	04.91

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



KV:20.00 TILT:0.00 TAKE-OFF:35.00 AMPT:6.4 DETECTOR TYPE
:SDD APOLLO X RESOLUTION :125.82



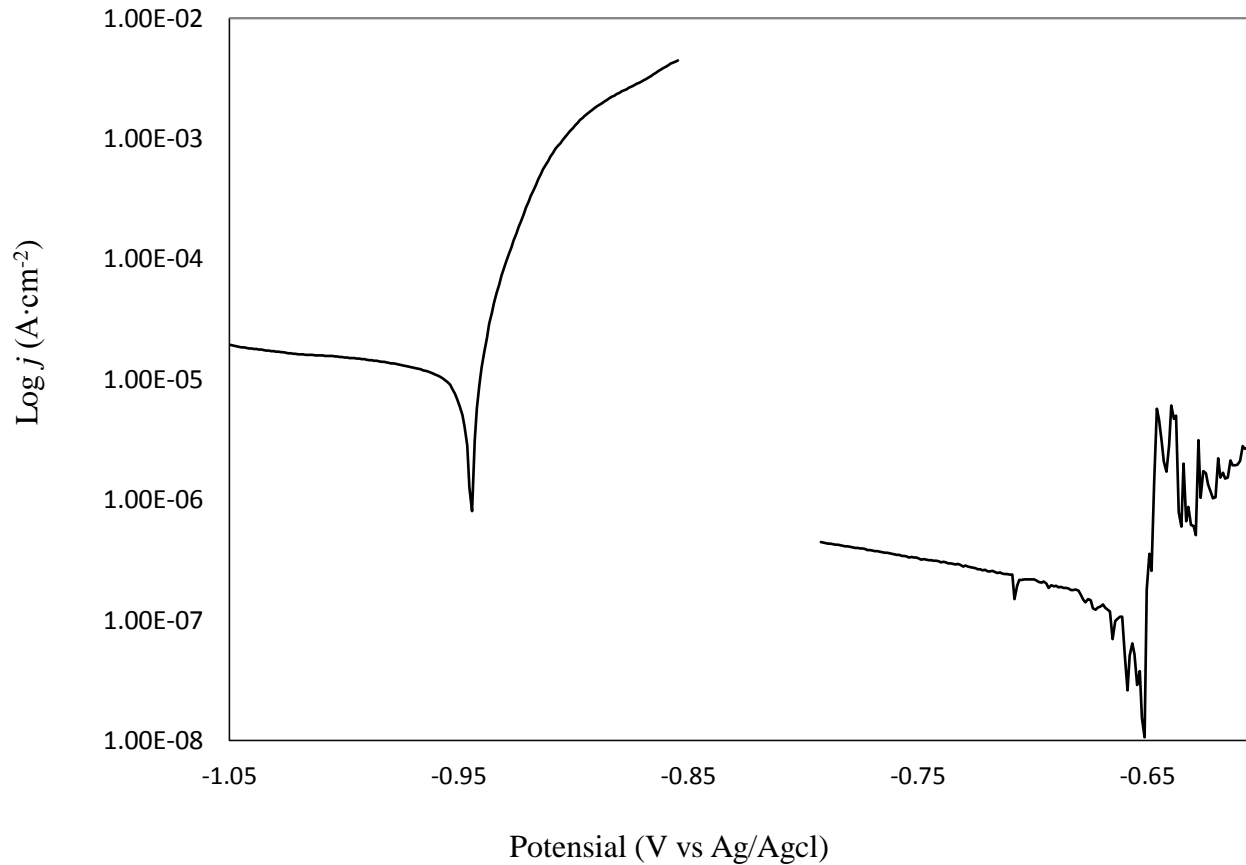
Lempeng paduan seng/aluminium

Hasil uji *inductively coupled plasma-optical emission spectrometer* dari lempeng aluminium, lempeng paduan seng/aluminium dan lempeng tembaga.

No.	Nama lempeng	Jenis Uji	Hasil (ppm)	Assay
1	Tembaga	Kandungan Cu	51702,3	≥ 99 %
2	Aluminium	Kandungan Al	36847	
3	Paduan seng-aluminium	Kandungan Al	850,6	
		Kandungan Zn	1008,6	



Polarisasi Potensiodynamik Elektroda



Elektroda acuan yaitu Ag/AgCl, elektroda bantu yaitu Pt dan elektroda kerja yaitu lempeng aluminium dan lempeng paduang seng-aluminium. Larutan yang digunakan yaitu larutan NaCl 3%, dengan luas elektroda kerja 1 cm²

Polarisasi Potensiodinamik Elektroda

Parameter Korosi yang Diperoleh dari Kurva Polarisasi Potensiodinamik

Lempeng anoda	Corrosion current density J_{corr}	Corrosion potential E_{corr} (vs Ag/AgCl)	Corrosion rate (mm/tahun)	Polarization resistance
Aluminium	29,0090 nA·cm ⁻²	-660,130 mV	0,00094615	23,4620 (kΩ)
Seng-aluminium	16,7800 μA·cm ⁻²	-944,630 mV	0,50254	535,390 (Ω)

Reaksi Elektrokimia Sel

Sel Al-Cu

Katoda $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

(*Dissolve Oxygen*) (Wilcock dan Kauffman, 1997)

Anoda $\text{Al} + 3 \text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_{3(s)} + 3\text{e}^-$

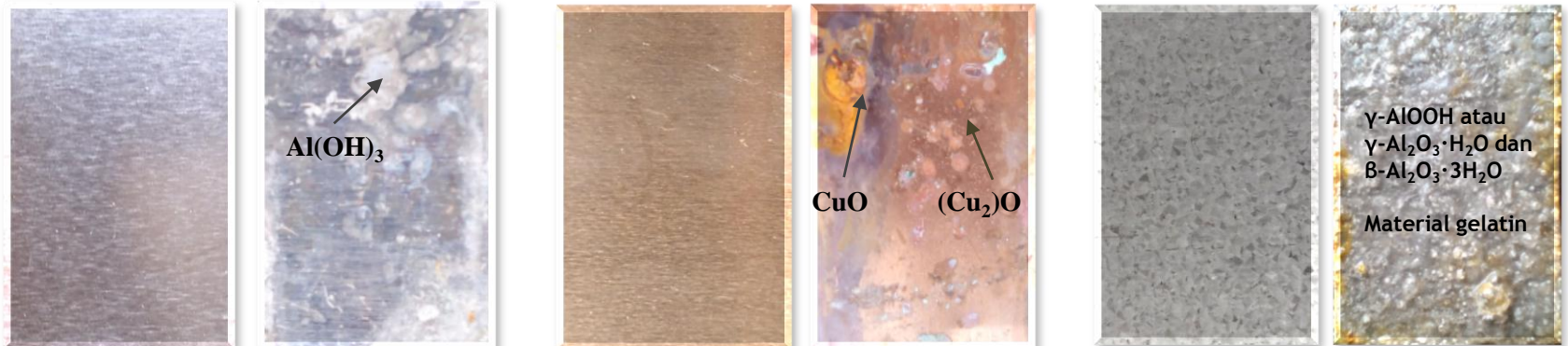
Reaksi keseluruhan $\text{Al} + \frac{3}{4} \text{O}_2 + \frac{3}{2} \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ (Shen dan Tseung, 1994)

Anoda $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ $E^0 = -0,41$ volt (*Hydrogen evolving corrosion*) (Ross, 1985)

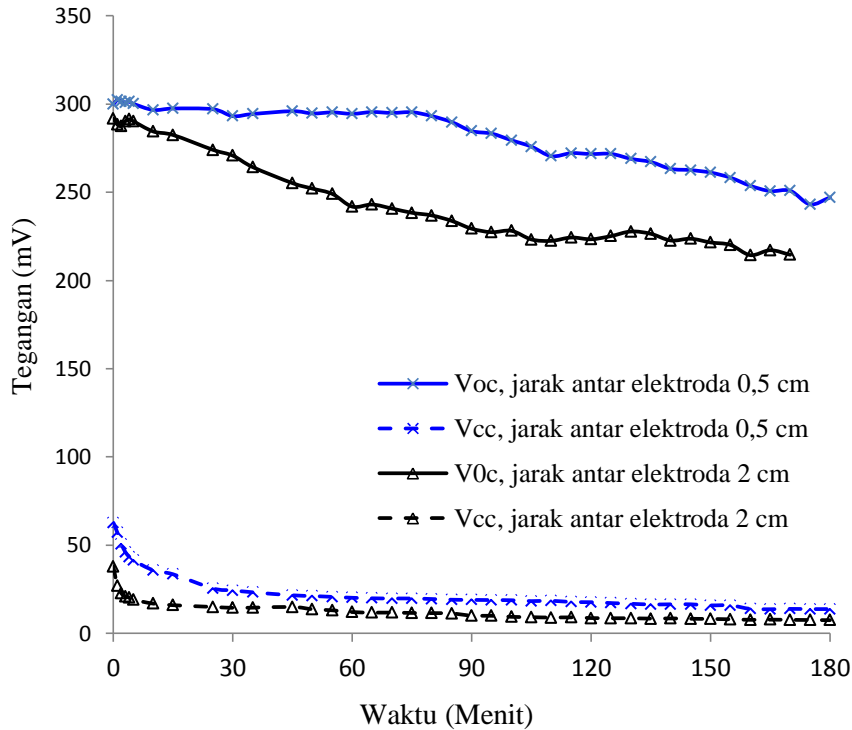
Sel Zn/Al-Cu

Oksida hidrat, mulai dengan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang diendapkan sebagai $\gamma\text{-AlOOH}$ atau $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

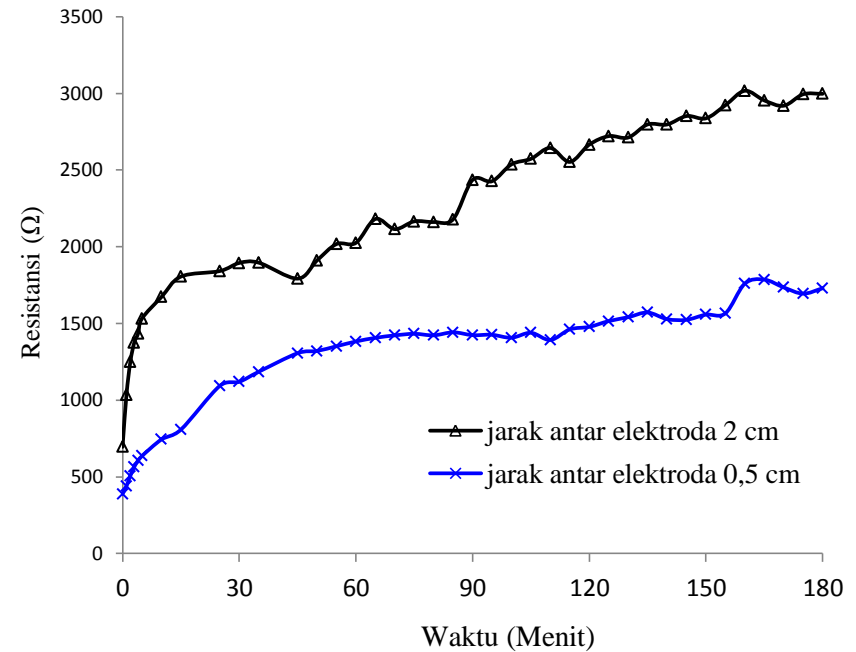
Dan berikutnya $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Sedangkan, Zn teroksidasi menjadi Zn^{2+} (Wales C.P. dkk, 1974).



Karakteristik *Discharge* Sel



Kurva tegangan *open circuit* dan tegangan *close circuit* sel Al-Cu selama *discharge*, salinitas elektrolit 3% dan laju elektrolit 0 l/jam

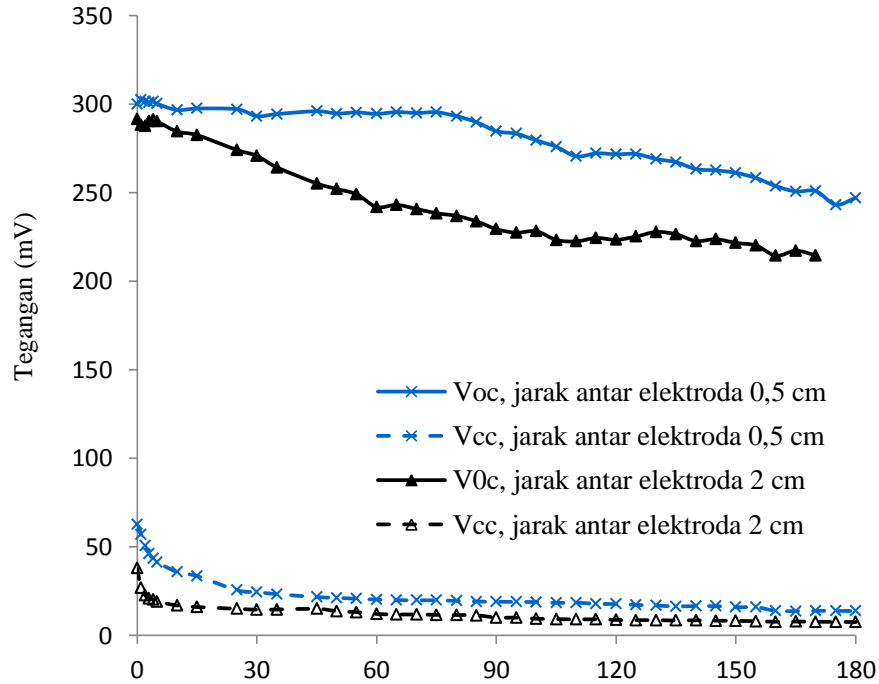


Kurva resistansi sel Al-Cu sebagai fungsi jarak anoda-katoda. Laju elektrolit 0 l/jam dan salinitas elektrolit 3%.

Pada saat *discharge*, tegangan *open circuit* sel lebih rendah dari tegangan *close circuit* sel karena adanya *IR losses* dan polarisasi material aktif berupa polarisasi aktivasi dan polarisasi konsentrasi

selisih tegangan *open circuit* antara jarak anoda-katoda 0,5 cm dan 2 cm yang semakin meningkat selama *discharge*. Sel dengan jarak anoda-katoda 2 cm memiliki laju *self discharge* yang lebih besar dibanding pada jarak 0,5 cm karena terdapat oksigen terlarut yang lebih banyak di daerah antara anoda dan katoda

Karakteristik *Discharge* Sel



Tabel Tegangan rata-rata sel Al-Cu

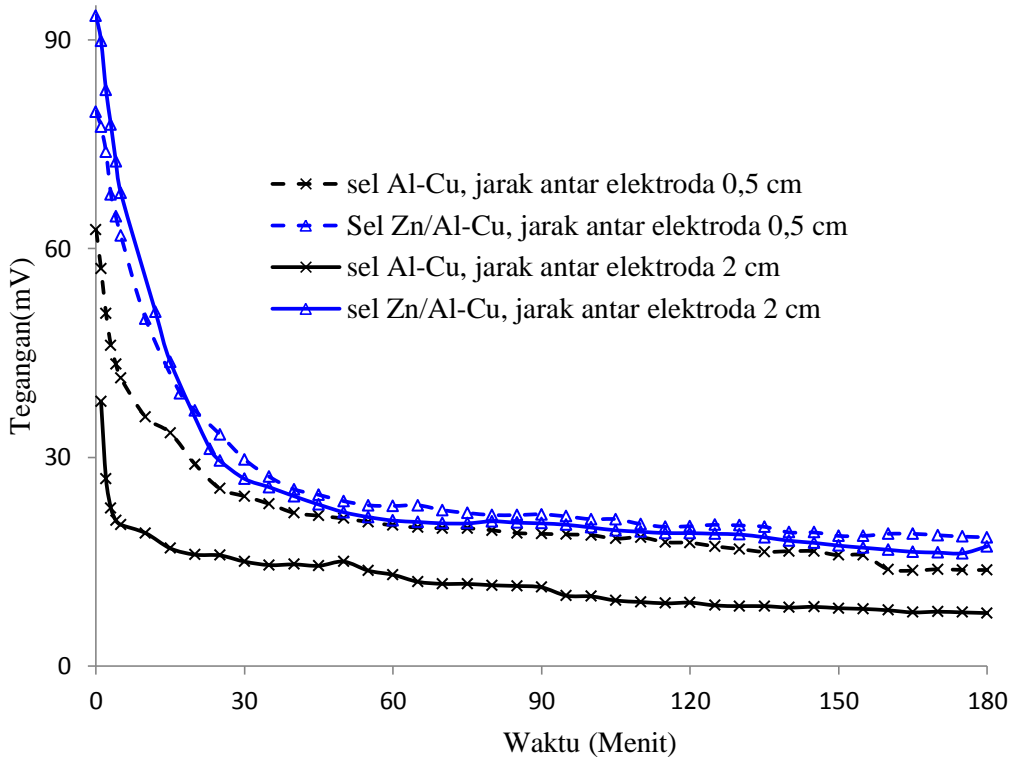
Jarak	Tegangan	Tegangan
Anoda-Katoda	Open-Circuit	Close-Circuit
(cm)	(mV)	(mV)
0,5	277,73	19,67
2	235,87	10,64

Kurva tegangan *open circuit* dan tegangan *close circuit* sel Al-Cu selama *discharge*, salinitas elektrolit 3% dan laju elektrolit 0 l/jam

- ☐ Tegangan *open circuit* sel lebih rendah dari tegangan *close circuit*
- ☐ Tegangan *open circuit* pada jarak anoda-katoda 2 cm lebih cepat jika di banding pada jarak 0,5 cm
- ☐ Selisih tegangan rata-rata *open circuit* dan *close circuit* sel Al-Cu selama *discharge* tiga jam pada yaitu 258,06 mV pada jarak anoda-katoda 0,5 cm dan 225,23 pada jarak anoda-katoda 2 cm.

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Jarak



(1)

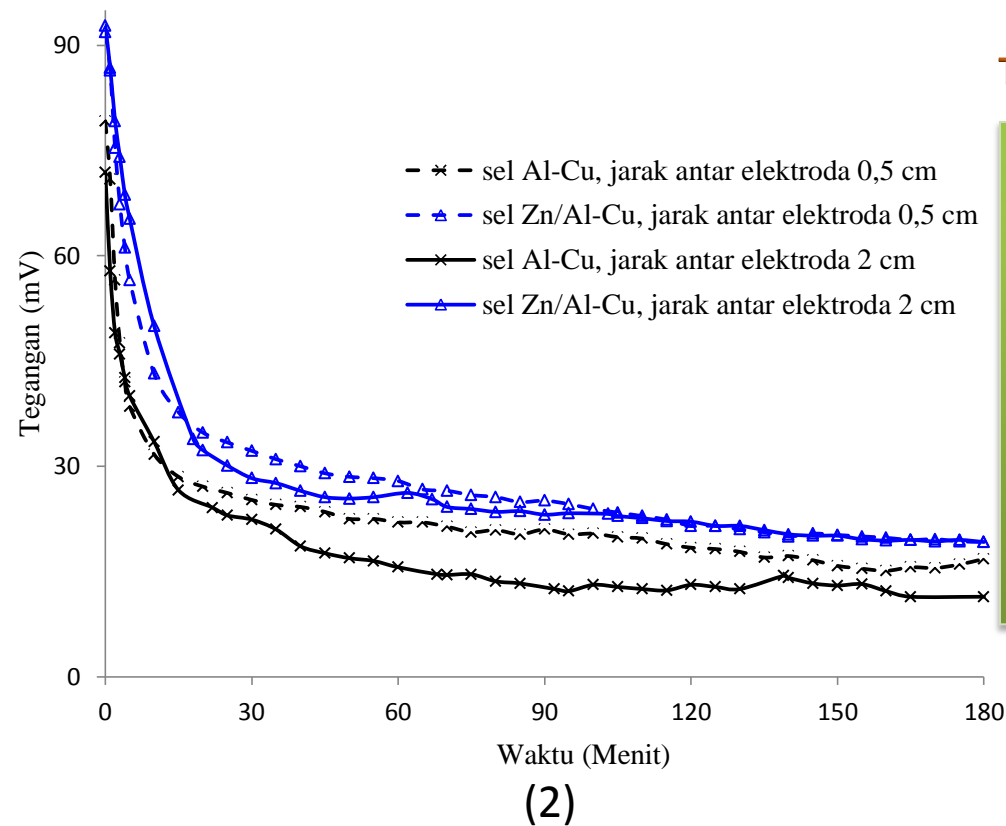
Tabel Tegangan Rata-Rata Sel

	Tegangan Rata-Rata (mV)					
	Salinitas Elektrolit 3%		Salinitas Elektrolit 4%		Salinitas Elektrolit 5%	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
Jarak antar elektroda 0,5 cm	19,67	23,51	20,53	25,44	22,94	30,55
Jarak antar elektroda 2 cm	11	21,99	15,86	24,35	20,05	26,67

Kurva *discharge* tegangan-waktu pada anoda dan jarak antar elektroda yang berbeda, . Laju elektrolit 0 liter/jam. Salinitas elektrolit (1) 3%, (2) 4% dan (3) 5%

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Jarak



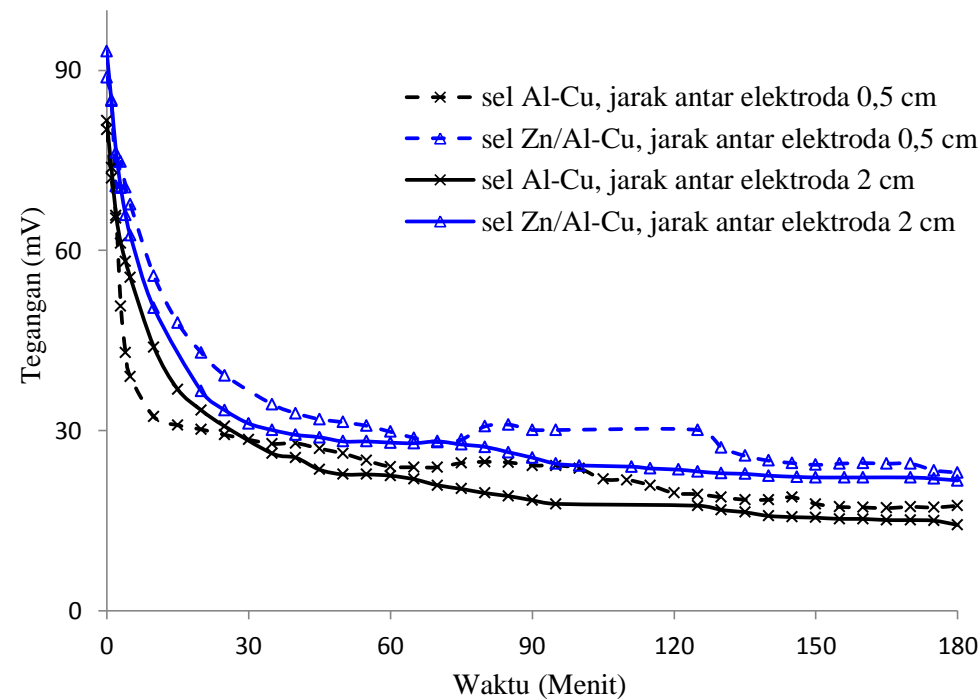
Tabel Tegangan Rata-Rata Sel

	Tegangan Rata-Rata (mV)					
	Salinita Elektrolit 3%		Salinita Elektrolit 4%		Salinita Elektrolit 5%	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
Jarak antar elektroda 0,5 cm	19,67	23,51	20,53	25,44	22,94	30,55
Jarak antar elektroda 2 cm	11	21,99	15,86	24,35	20,05	26,67

Kurva *discharge* tegangan-waktu pada anoda dan jarak antar elektroda yang berbeda, . Laju elektrolit 0 liter/jam. Salinitas elektrolit (1) 3%, (2) 4% dan (3) 5%

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Jarak



(3)

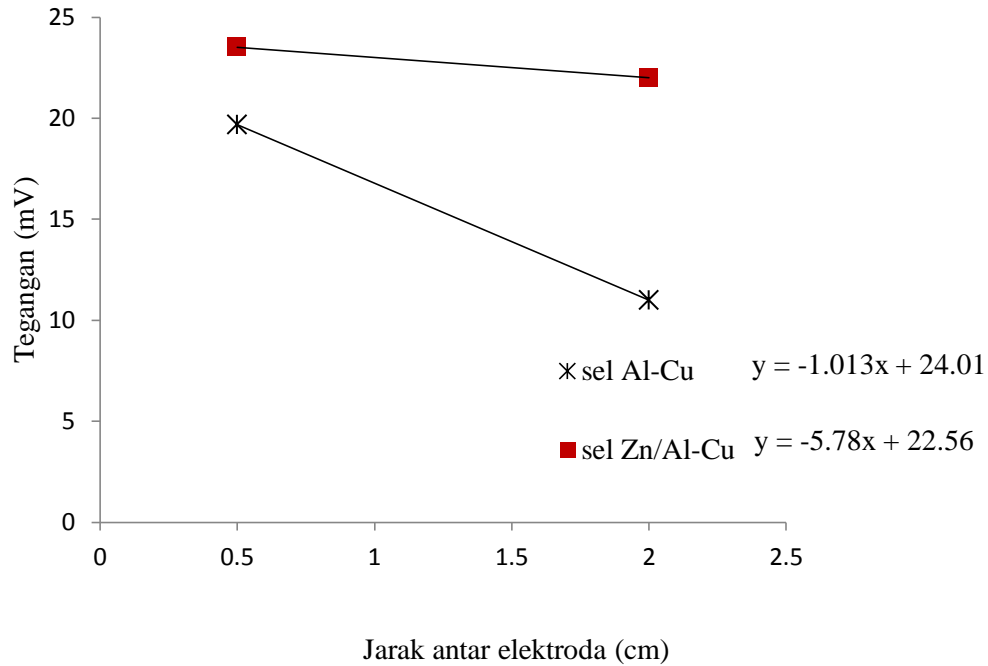
Tabel Tegangan Rata-Rata Sel

	Tegangan Rata-Rata (mV)					
	Salinita Elektrolit 3%		Salinita Elektrolit 4%		Salinita Elektrolit 5%	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
Jarak antar elektroda 0,5 cm	19,67	23,51	20,53	25,44	22,94	30,55
Jarak antar elektroda 2 cm	11	21,99	15,86	24,35	20,05	26,67

Kurva *discharge* tegangan-waktu pada anoda dan jarak antar elektroda yang berbeda, . Laju elektrolit 0 liter/jam. Salinitas elektrolit (1) 3%, (2) 4% dan (3) 5%

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Jarak



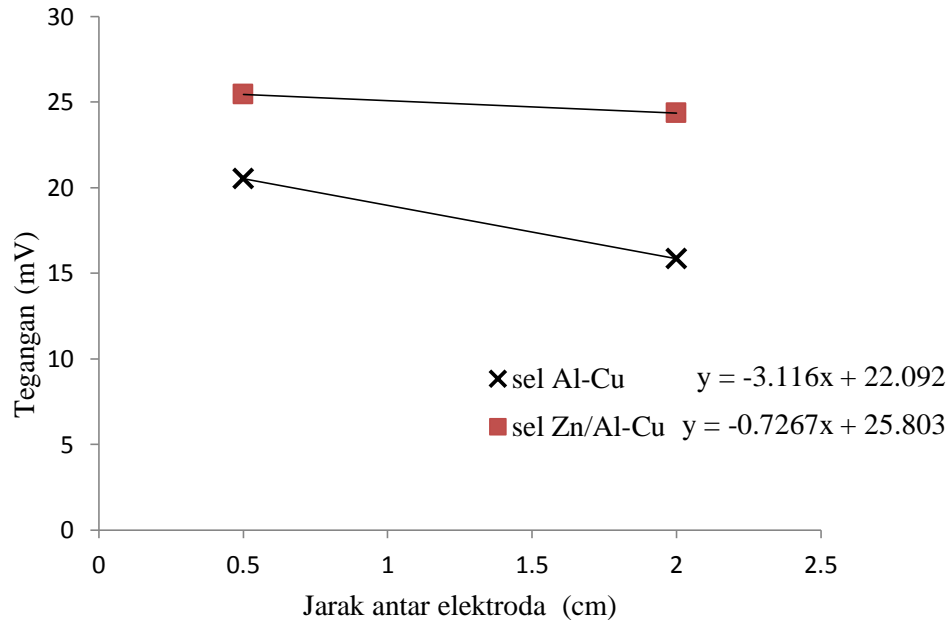
Persamaan Linear Tegangan Sel Sebagai Fungsi Jarak Antar Elektroda, dengan Laju Elektrolit 0 liter/jam

Salinitas Elektrolit	Fungsi Linear	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
3%	$Y = -1,013X + 24,01$	$Y = -5,78X + 22,56$
4%	$Y = -0,726X + 25,80$	$Y = -3,116X + 22,09$
5%	$Y = -2,586X + 31,84$	$Y = -1,926X + 23,90$

Kurva tegangan rata-rata sel baterai air laut sebagai fungsi jarak antar elektroda pada sel dengan salinitas elektrolit 3% dan laju elektrolit 0 liter/jam.

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Jarak



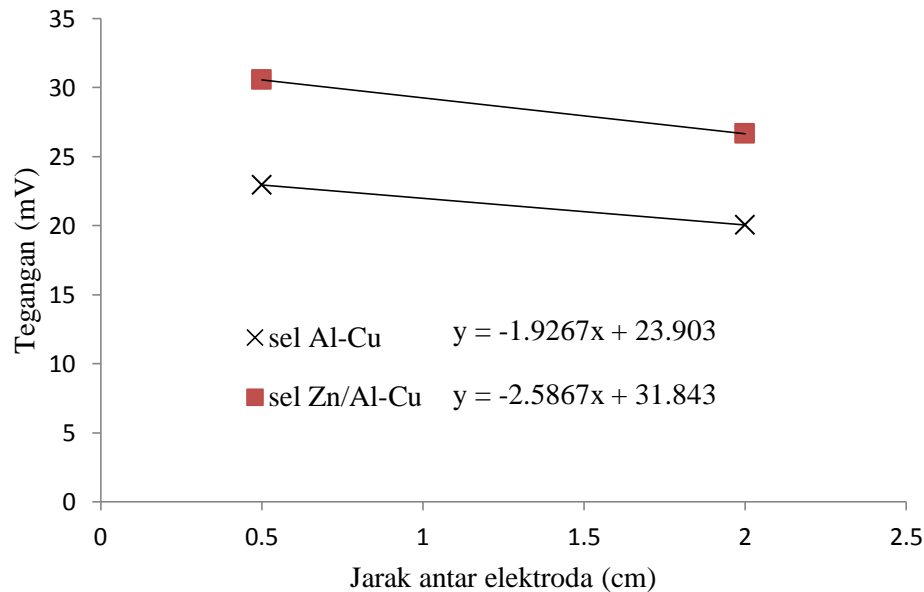
Persamaan Linear Tegangan Sel Sebagai Fungsi Jarak Antar Elektroda, dengan Laju Elektrolit 0 liter/jam

Salinitas Elektrolit	Fungsi Linear	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
3%	$Y = -1,013X + 24,01$	$Y = -5,78X + 22,56$
4%	$Y = -0,726X + 25,80$	$Y = -3,116X + 22,09$
5%	$Y = -2,586X + 31,84$	$Y = -1,926X + 23,90$

Kurva tegangan rata-rata sel baterai air laut sebagai fungsi jarak antar elektroda pada sel dengan salinitas elektrolit 4% dan laju elektrolit 0 liter/jam.

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Jarak



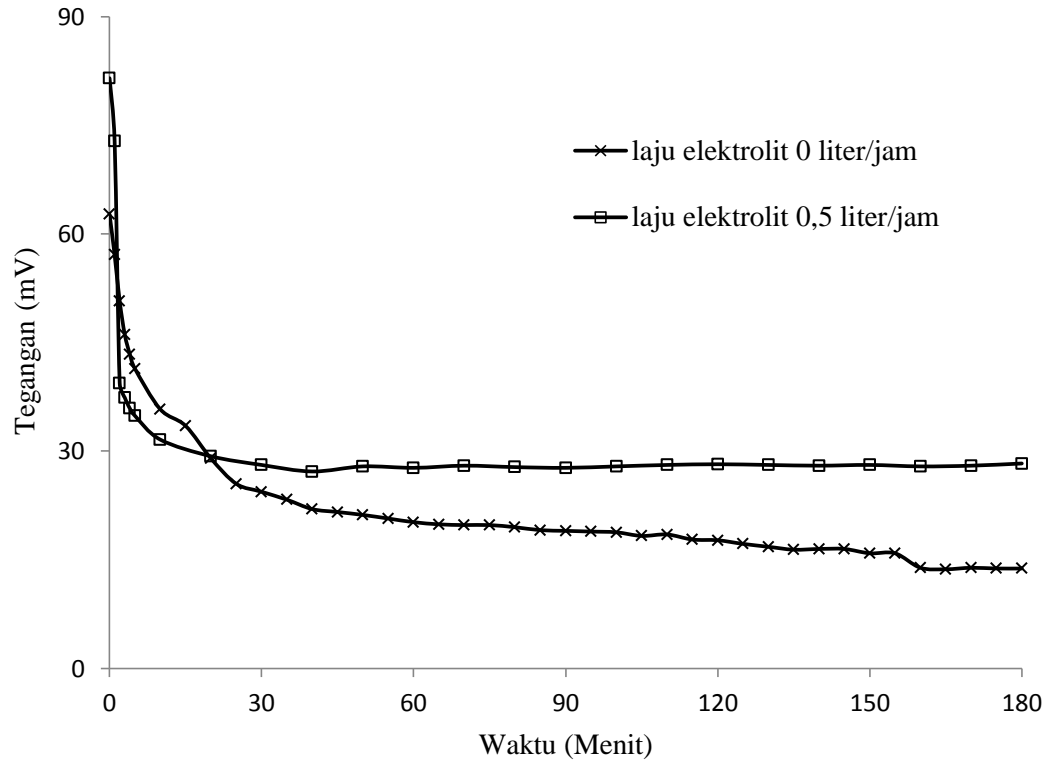
Persamaan Linear Tegangan Sel Sebagai Fungsi Jarak Antar Elektroda, dengan Laju Elektrolit 0 liter/jam

Salinitas Elektrolit	Fungsi Linear	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
3%	$Y = -1,013X + 24,01$	$Y = -5,78X + 22,56$
4%	$Y = -0,726X + 25,80$	$Y = -3,116X + 22,09$
5%	$Y = -2,586X + 31,84$	$Y = -1,926X + 23,90$

Kurva tegangan rata-rata sel baterai air laut sebagai fungsi jarak antar elektroda pada sel dengan salinitas elektrolit 5% dan laju elektrolit 0 liter/jam.

Karakteristik *Discharge* Sel

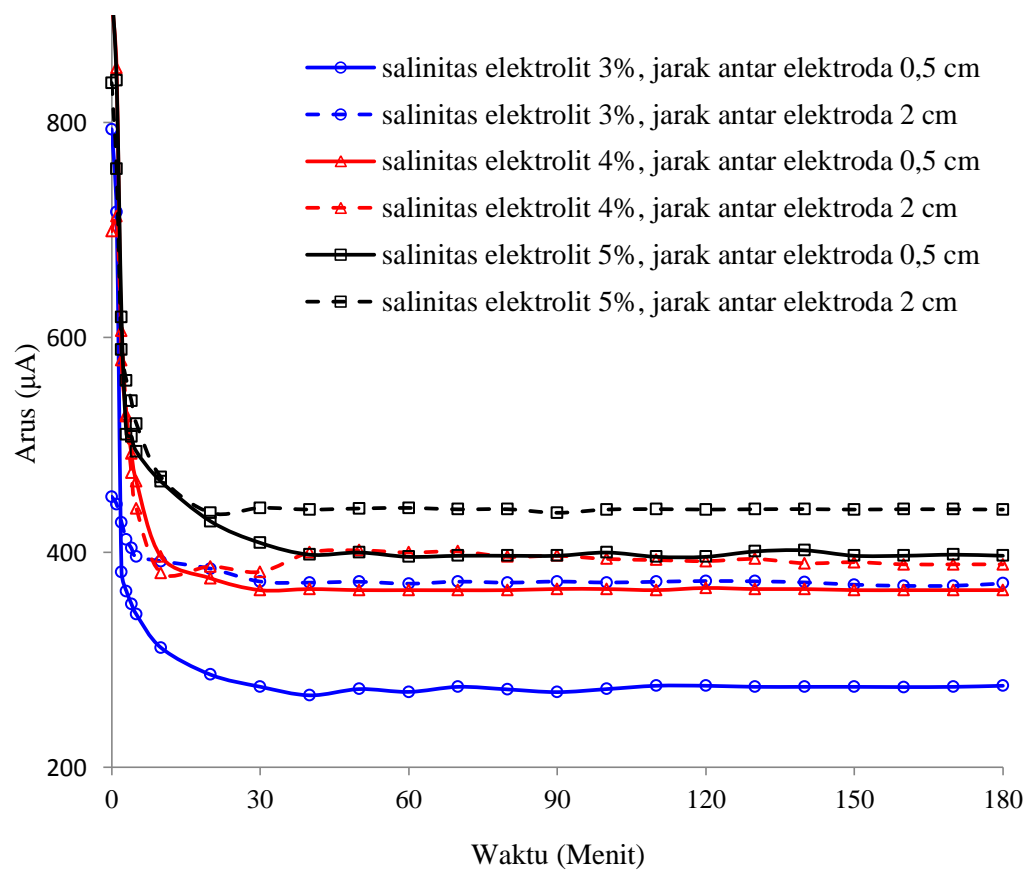
Pengaruh Laju Elektrolit



Kurva *discharge* tegangan-waktu sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 3%, jarak antar elektroda 0,5 cm.

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Laju Elektrolit



(1)

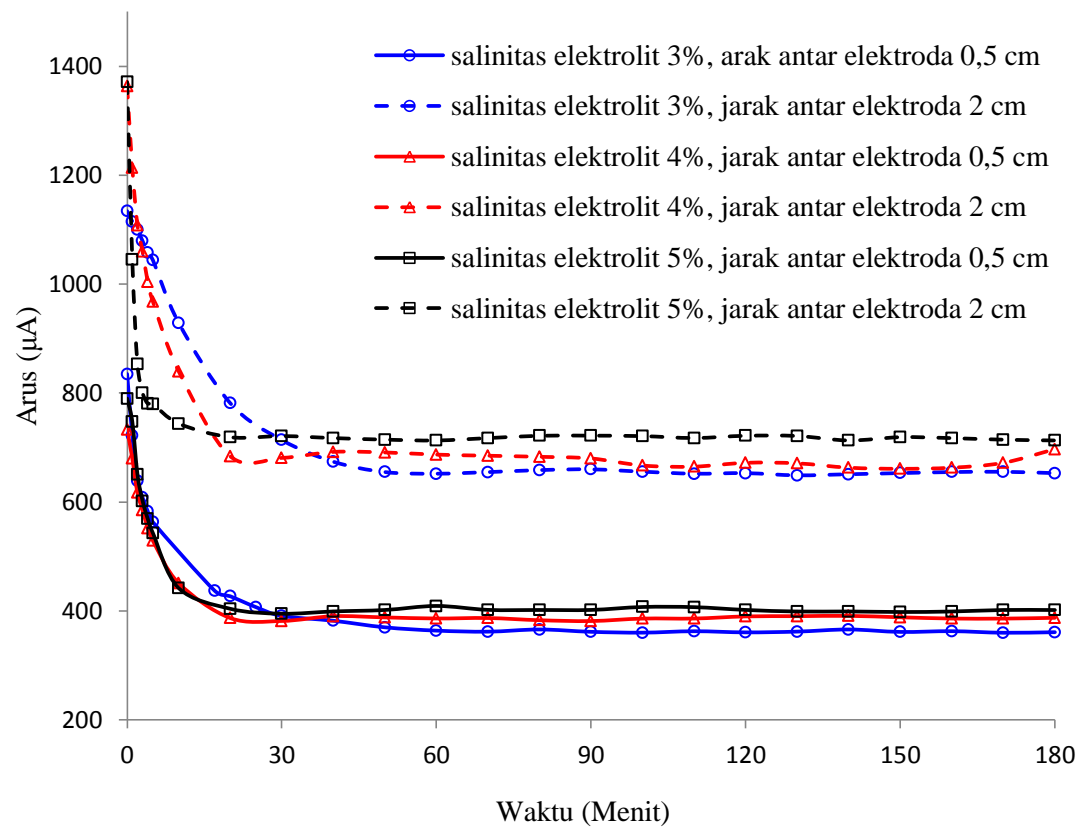
Nilai Arus Rata-Rata Sel pada Laju Elektrolit 0,5 Liter/Jam

	Arus rata-rata (μA)			
	Sel Al-Cu		Sel Zn/Al-Cu	
	Jarak antar elektroda 0,5 cm	Jarak antar elektroda 2 cm	Jarak antar elektroda 0,5 cm	Jarak antar elektroda 2 cm
Salinitas Elektrolit 3%	273,68	371,87	365,86	659,11
Salinitas elektrolit 4%	365,44	393,69	386,83	676,88
Salinitas elektrolit 5%	398,63	440,19	401,61	717,79

Kurva *discharge* arus-waktu pada laju elektrolit sama 0,5 liter/jam, salinitas elektrolit dan jarak antar elektroda berbeda. (1) sel Al-Cu dan (2) sel Zn/Al-Cu

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Laju Elektrolit



Nilai Arus Rata-Rata Sel pada Laju Elektrolit 0,5 Liter/Jam

	Arus rata-rata (µA)			
	Sel Al-Cu		Sel Zn/Al-Cu	
	Jarak antar elektroda 0,5 cm	Jarak antar elektroda 2 cm	Jarak antar elektroda 0,5 cm	Jarak antar elektroda 2 cm
Salinitas Elektrolit 3%	273,68	371,87	365,86	659,11
Salinitas elektrolit 4%	365,44	393,69	386,83	676,88
Salinitas elektrolit 5%	398,63	440,19	401,61	717,79

(2)

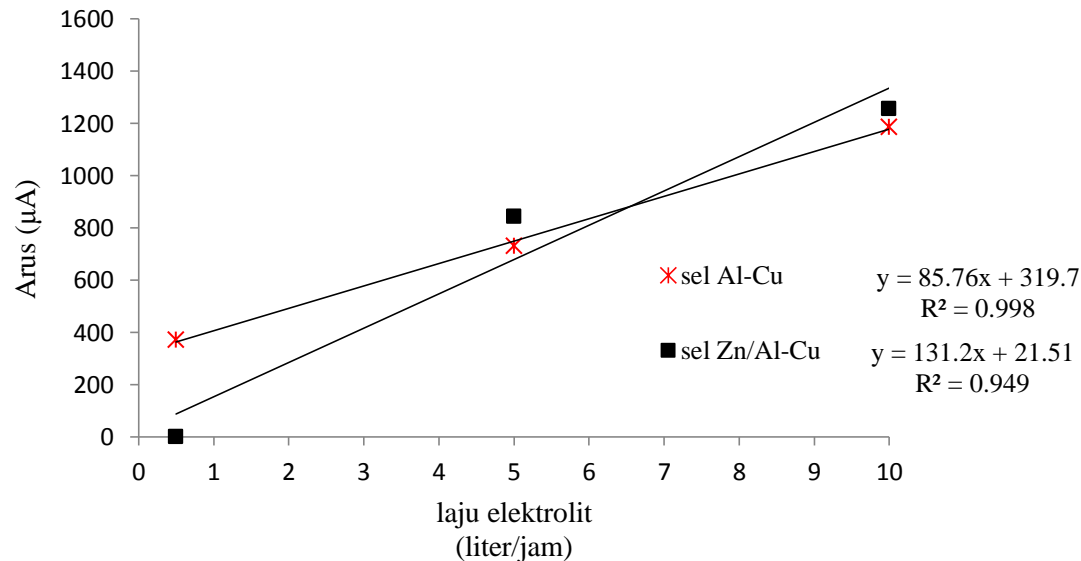
Kurva *discharge* arus-waktu pada laju elektrolit sama 0,5 liter/jam, salinitas elektrolit dan jarak antar elektroda berbeda. (1) sel Al-Cu dan (2) sel Zn/Al-Cu

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Laju Elektrolit

Nilai Arus Rata-Rata Sel Sebagai Fungsi Laju Elektrolit dengan Salinitas Elektrolit 3% dan Jarak Antar Elektroda 2 cm

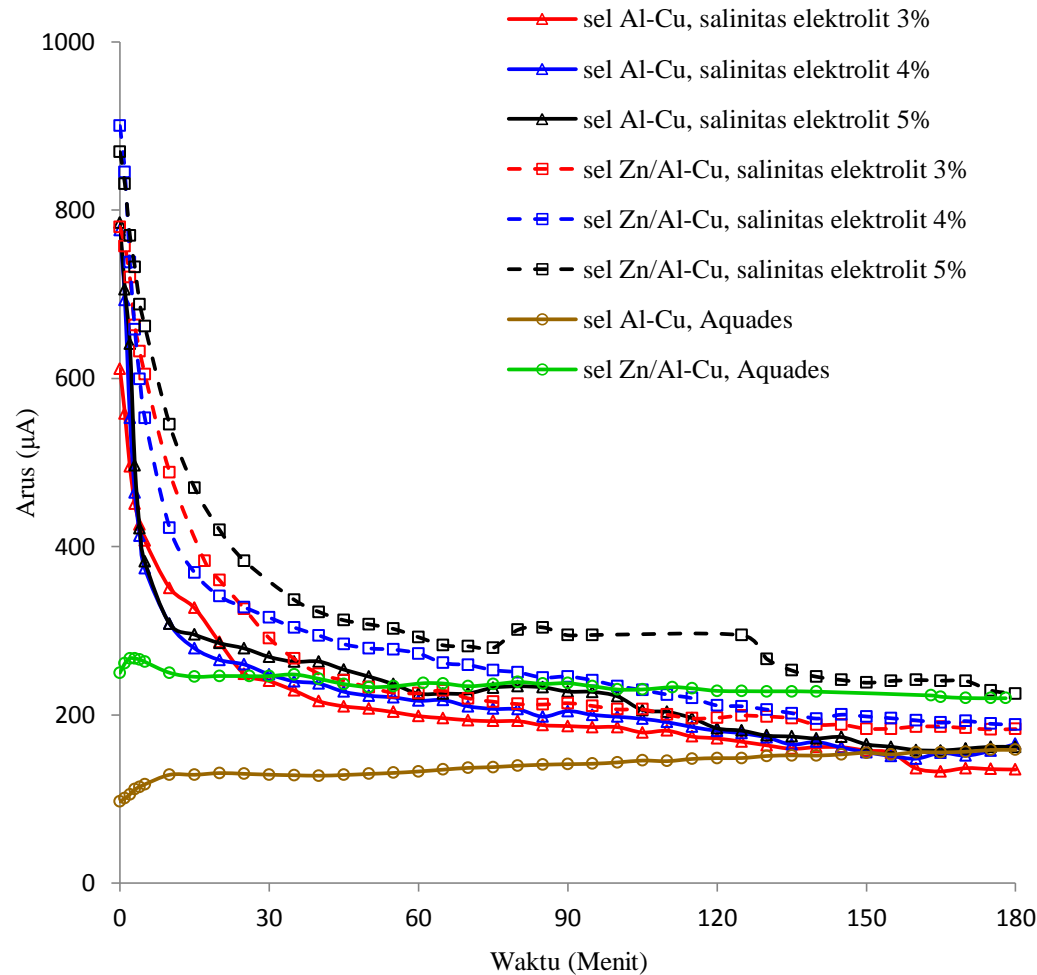
	Arus rata-rata sel (μA)	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
Laju elektrolit 0,5 liter/jam	371,87	659,11
Laju elektrolit 5 liter/jam	730,88	843,5
Laju elektrolit 10 liter/jam	1185,69	1255,84



Kurva arus rata-rata sel sebagai fungsi laju elektrolit pada salinitas 3% dan jarak antar elektroda 2 cm.

Karakteristik Discharge Sel

Pengaruh Salinitas



(1)

Kurva *discharge* arus- waktu. Laju elektrolit 0 liter/jam dan pada jarak antar elektroda : (1) 0,5 cm (2) 2 cm

Nilai Arus Rata-Rata

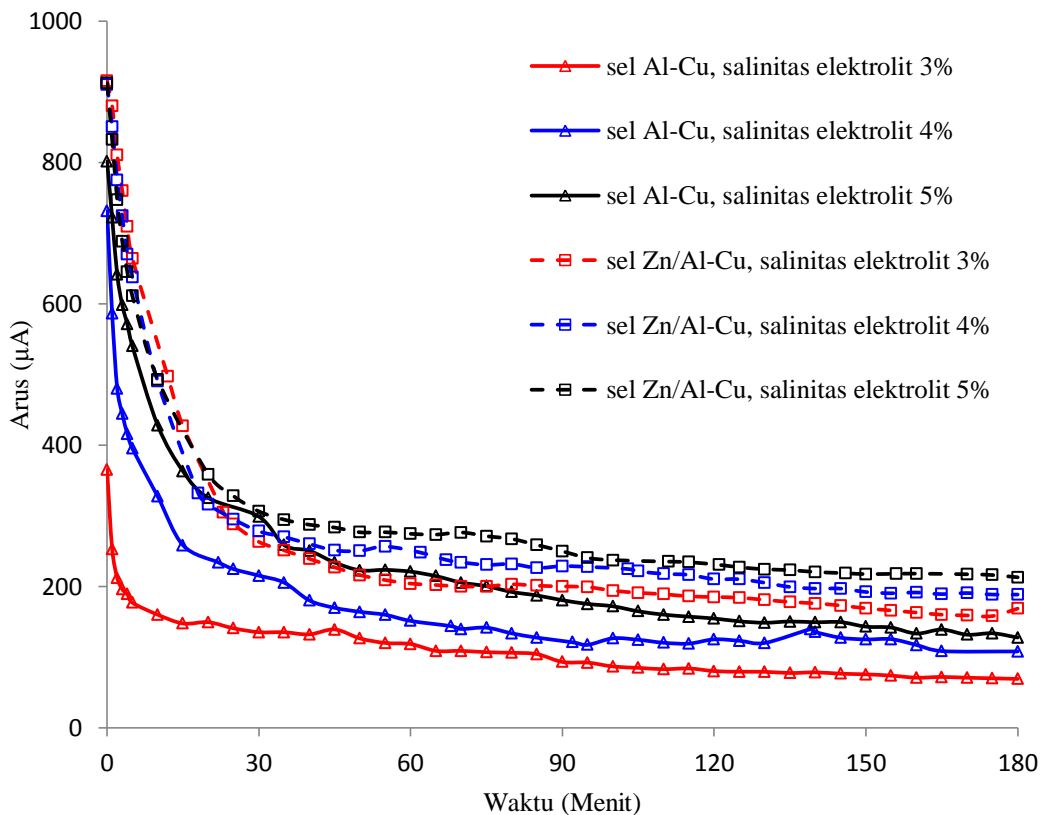
	Arus rata-rata (μA)			
	Jarak antar elektroda 0,5 cm		Jarak antar elektroda 2 cm	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
Aquades	142,09	x	233,97	x
Salinitas elektrolit 3%	192,69	230,42	101,03	214,62
Salinitas elektrolit 4%	201,32	249,21	153,31	236,92
Salinitas elektrolit 5%	215,43	299,45	196,69	261,42

Nilai Konduktifitas Larutan NaCl

Salinitas larutan NaCl	Konduktifitas (miliSiemen)	Temperatur larutan NaCl ($^{\circ}C$)
3%	44,7	31
4%	59,3	31,3
5%	73,9	31,4

Karakteristik Discharge Sel

Pengaruh Salinitas



(2)

Kurva *discharge* arus- waktu. Laju elektrolit 0 liter/jam dan pada jarak antar elektroda : (1) 0,5 cm (2) 2 cm

Nilai Arus Rata-Rata

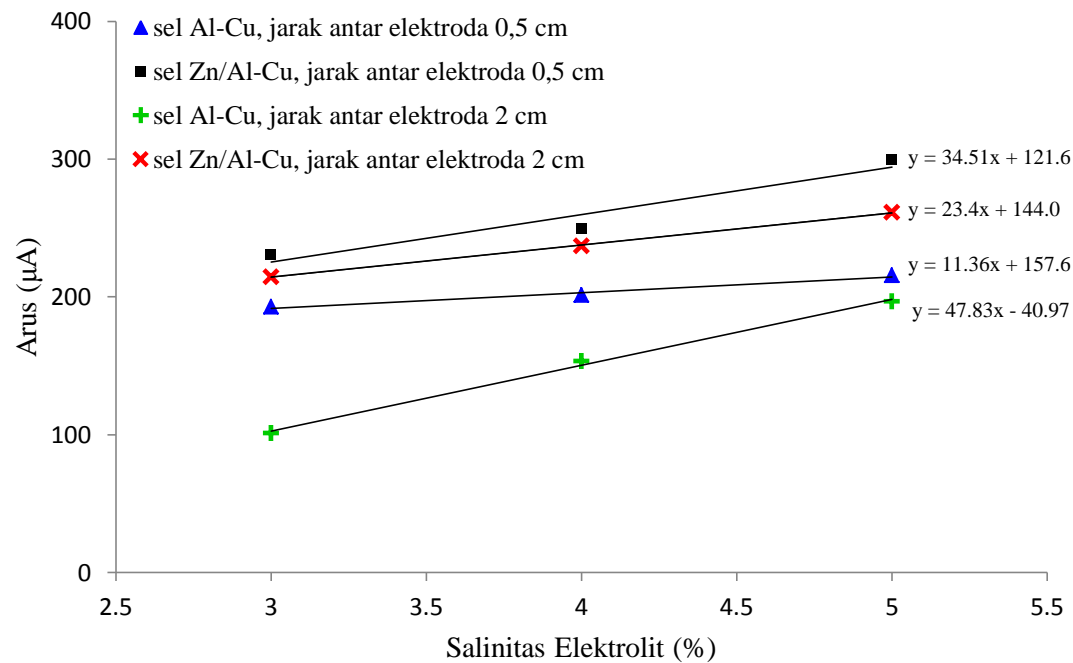
	Arus rata-rata (μA)			
	Jarak antar elektroda 0,5 cm		Jarak antar elektroda 2 cm	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
Aquades	142,09	x	233,97	x
Salinitas elektrolit 3%	192,69	230,42	101,03	214,62
Salinitas elektrolit 4%	201,32	249,21	153,31	236,92
Salinitas elektrolit 5%	215,43	299,45	196,69	261,42

Nilai Konduktifitas Larutan NaCl

Salinitas larutan NaCl	Konduktifitas (miliSiemen)	Temperatur larutan NaCl ($^{\circ}\text{C}$)
3%	44,7	31
4%	59,3	31,3
5%	73,9	31,4

Karakteristik *Discharge* Sel

Pengaruh Salinitas



Persamaan linear arus sel pada laju elektrolit 0 liter/jam sebagai fungsi salinitas elektrolit

Nilai Arus Rata-Rata

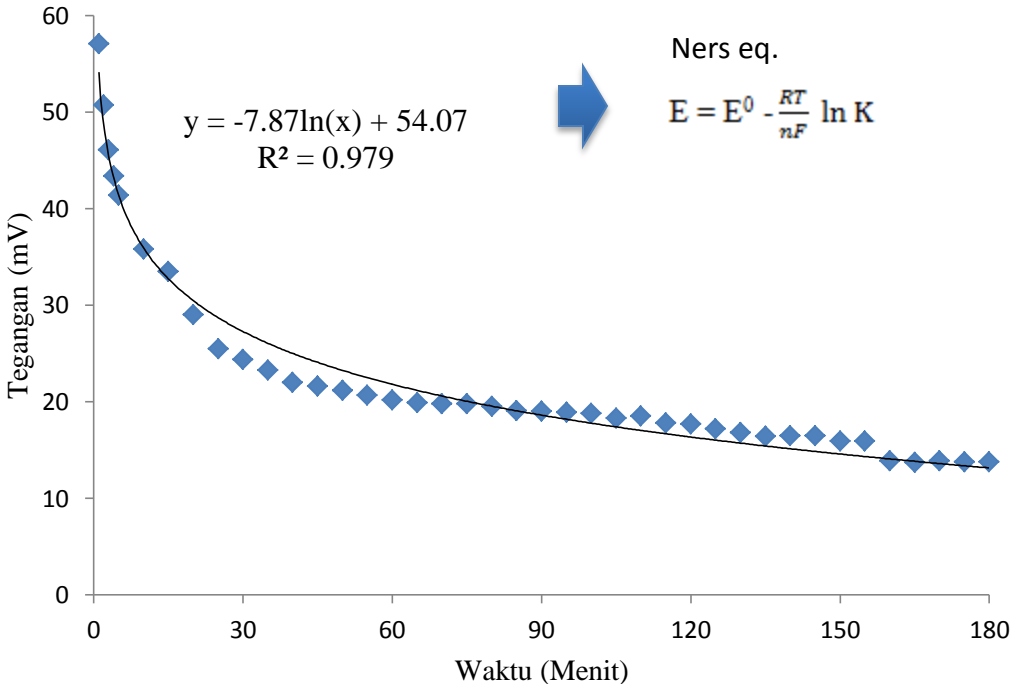
	Arus rata-rata (µA)			
	Jarak antar elektroda 0,5 cm		Jarak antar elektroda 2 cm	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
Aquades	142,09	x	233,97	x
Salinitas elektrolit 3%	192,69	230,42	101,03	214,62
Salinitas elektrolit 4%	201,32	249,21	153,31	236,92
Salinitas elektrolit 5%	215,43	299,45	196,69	261,42

Nilai Konduktifitas Larutan NaCl

Salinitas larutan NaCl	Konduktifitas (miliSiemen)	Temperatur larutan NaCl (°C)
3%	44,7	31
4%	59,3	31,3
5%	73,9	31,4

Karakteristik Discharge Sel

Tegangan Sel



Persamaan tegangan sel Al-Cu dengan pendekatan logaritmik. Sel pada salinitas elektrolit 3%, jarak antar elektroda 0,5 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam

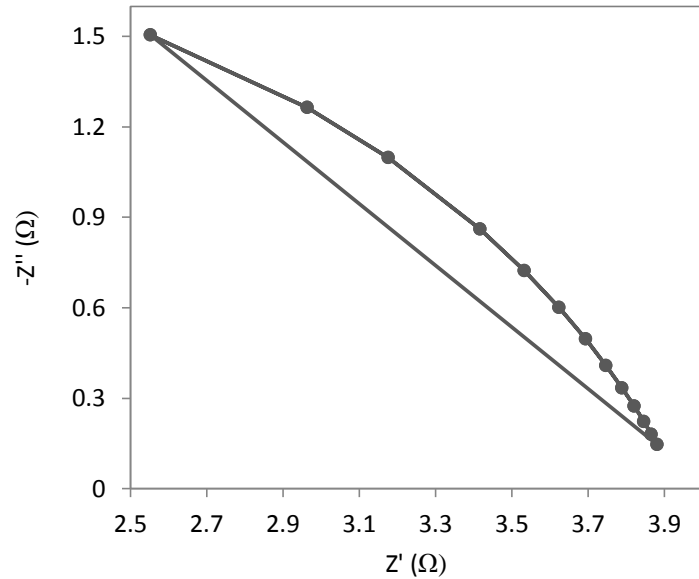
Persamaan tegangan sel pada elektrolit diam didalam sel

Sel	Jarak Antar elektroda (cm)	Salinitas Elektrolit (%)	Persamaan Grafik Tegangan
Al-Cu	0,5	3	$Y = -7,87 \ln(x) + 54,07$ $R^2 = 0,979$
		4	$Y = -81,0 \ln(x) + 556,3$ $R^2 = 0,916$
		5	$Y = -85,8 \ln(x) + 591,1$ $R^2 = 0,905$
	2	3	$Y = -42,1 \ln(x) + 286,8$ $R^2 = 0,925$
		4	$Y = -86,1 \ln(x) + 526,8$ $R^2 = 0,960$
		5	$Y = -115 \ln(x) + 703,6$ $R^2 = 0,986$
Zn/Al-Cu	0,5	3	$Y = -117 \ln(x) + 748,8$ $R^2 = 0,950$
		4	$Y = -114 \ln(x) + 751,1$ $R^2 = 0,953$
		5	$Y = -118 \ln(x) + 817,7$ $R^2 = 0,961$
	2	3	$Y = -142 \ln(x) + 843,2$ $R^2 = 0,931$
		4	$Y = -126 \ln(x) + 793,8$ $R^2 = 0,925$
		5	$Y = -117 \ln(x) + 779,2$ $R^2 = 0,950$

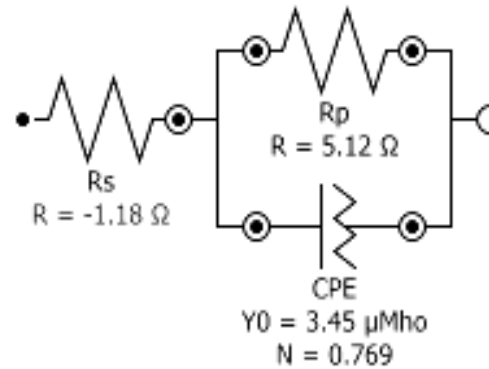
Tabel Tegangan dan Arus Rata-Rata Sel

No	Sel	Laju Elektrolit (liter/jam)	Jarak Antar elektroda (cm)	Salinitas Elektrolit (%)	Tegangan Rata-Rata Sel (mV)	Arus Rata-Rata Sel (μA)
1	Al-Cu	0	0,5	3	19,67	192,69
2				4	20,53	201,32
3				5	22,94	215,43
4			2	3	10,90	101,03
5				4	15,85	153,31
6				5	20,05	196,69
7		0,5	0,5	3	27,94	273,68
8				4	37,08	365,44
9				5	40,16	398,63
10			2	3	38,01	371,87
11				4	40,24	393,69
12				5	45,02	440,19
13	Zn/Al-Cu	0	0,5	3	23,51	230,42
14				4	25,44	249,21
15				5	30,55	299,45
16			2	3	21,99	214,62
17				4	24,35	236,93
18				5	26,67	261,42
19		0,5	0,5	3	37,488	365,86
20				4	39,55	366,83
21				5	41,24	401,61
22			2	3	67,48	659,11
23				4	69,28	676,88
24				5	73,56	717,79
25	Al-Cu	0	0,5	X	14,51	142,09
26	Zn/Al-Cu	0	0,5	X	23,89	233,97

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Elektroda



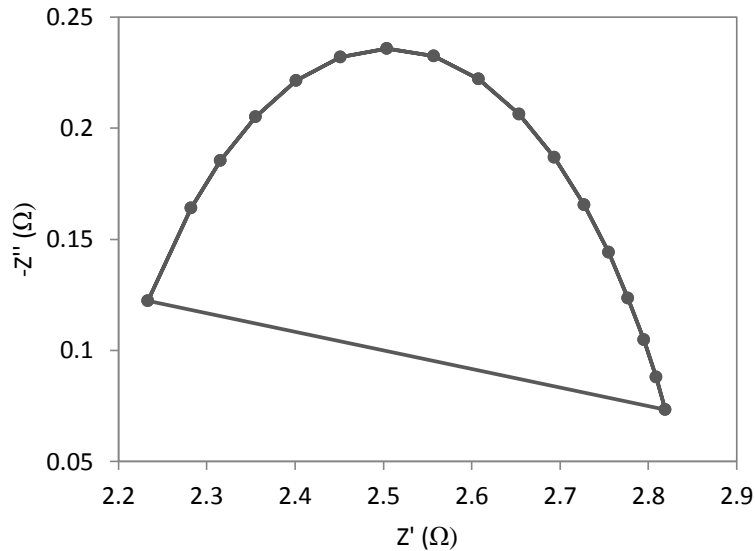
(a)



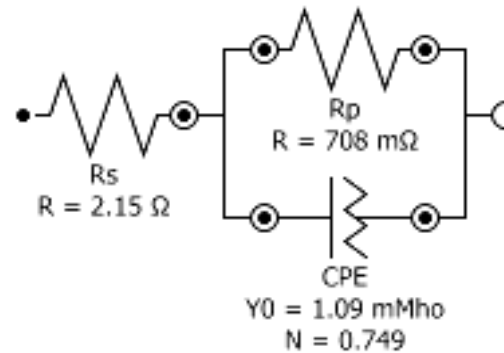
(b)

Hasil uji EIS lempeng Al dan lempeng Zn/Al didalam larutan NaCl 3%. (a) Plot Nyquizi lempeng Al, (b) *Equivalent circuit model* lempeng Al (c) Plot Nyquizi lempeng Zn/Al dan (d) *Equivalent circuit model* lempeng Zn/Al

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Elektroda



(a)



(b)

Hasil uji EIS lempeng Al dan lempeng Zn/Al didalam larutan NaCl 3%. (a) Plot Nyquizi lempeng Al, (b) *Equivalent circuit model* lempeng Al (c) Plot Nyquizi lempeng Zn/Al dan (d) *Equivalent circuit model* lempeng Zn/Al

KESIMPULAN

Performa sel terbaik pada sel Al-Cu dan sel Zn/Al-Cu didapatkan pada keadaan salinitas elektrolit 5%, jarak antar elektroda 2 cm dan laju elektrolit 0,5 liter/jam dengan nilai tegangan dan arus rata-rata masing-masing sel sebesar 45,02 mV 440,19 μ A dan 73,56 mV 717,79 μ A. Sel Zn/Al-Cu memiliki performa *discharge* lebih baik jika dibanding sel Al-Cu dengan ditunjukkan tegangan dan arus yang lebih besar, tetapi anoda paduan Zn/Al memiliki laju korosi lebih besar jika dibandingkan anoda Al. laju korosi paduan Zn/Al sebesar 0,50254 mm/tahun, sedangkan Al sebesar 0,00094615 mm/tahun . Proses *interface* elektrokimia lempeng Al/larutan NaCl dan lempeng Zn/Al/larutan NaCl pada penelitian kontrol oleh proses aktivasi terkontrol (*activation-controlled mode*) dengan nilai R_s -1,18 Ω dan R_p 5,12 Ω untuk lempeng Al dan R_s 2,15 Ω dan R_p 708 m Ω untuk lempeng Zn/Al.

